



Doctoral Thesis

## Räumliche und zeitliche Reichweite als Indikatoren zur Bewertung von Umweltchemikalien

**Author(s):**

Scheringer, Martin

**Publication Date:**

1996

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001693050> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 11746

**Räumliche und zeitliche Reichweite  
als Indikatoren zur Bewertung  
von Umweltchemikalien**

Abhandlung  
zur Erlangung des Titels  
Doktor der Naturwissenschaften  
der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich

vorgelegt von  
MARTIN SCHERINGER  
Diplom-Chemiker, Universität Mainz  
geboren am 18. 6. 1965  
in Aachen (Deutschland)

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. U. Müller-Herold, Referent  
Prof. Dr. R. Schwarzenbach, Korreferent  
Dr. G. Hirsch, Korreferentin

1996

## Zusammenfassung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Frage, wie Umweltchemikalien in möglichst konsistenter und praktikabler Weise hinsichtlich ihrer Einwirkungen auf die Umwelt bewertet werden können. Unter Bewertung wird dabei die Beurteilung eines Sachverhaltes (z. B. eine Chemikalienexposition) im Hinblick auf normative Prinzipien (z. B. Vorsorgeprinzip und Verursacherprinzip), also ein *normatives Urteil*, verstanden.

Nach einer Analyse der offenen Probleme, die sich beim bisher in der Chemikalienbewertung üblichen Verfahren aus Expositionsanalyse und Wirkungsanalyse ergeben (Kapitel 2 und 3), wird dieses Verfahren in zwei Punkten modifiziert: Erstens werden für die Bewertung allgemein anerkannte normative Prinzipien *explizit* herangezogen: das Verursacherprinzip, das Vorsorgeprinzip, das Prinzip der Verteilungsgerechtigkeit von Nutzen und Nebenfolgen, das Prinzip der Unparteilichkeit bei der Bewertung umweltverändernden Handelns. Dabei wird folgende These vertreten: (1) die räumliche und zeitliche Erstreckung bzw. Verteilung von Handlungsfolgen ist ein wesentlicher Gegenstand der genannten normativen Prinzipien; (2) diese räumliche und zeitliche Erstreckung kann durch eine *räumliche* und *zeitliche Reichweite* (bezeichnet mit  $R$  und  $\tau$ ) abgeschätzt werden; (3) deswegen wird eine Anwendung dieser Prinzipien auf umweltveränderndes Handeln möglich, wenn die Reichweiten der durch dieses Handeln ausgelösten Umweltveränderungen ermittelt werden. Die mit dieser These eingeführten Indikatoren  $R$  und  $\tau$  dienen zur Identifikation der von einer Chemikalienexposition betroffenen Personen und Parteien (Abschnitt 4.2).

Zweitens wird die Bewertung auf empirischer Seite ausschließlich auf Expositionsdaten gestützt. Dadurch wird die Bewertung von der Ebene der *Schäden* (negativ bewertete *Auswirkungen*) auf die Ebene der *Gefährdung* (*Einwirkungen*, die möglicherweise Schäden auslösen) vorverlagert. Dies ermöglicht erstens, die nicht allgemein lösbare Frage zu umgehen, welche der äußerst zahlreichen Auswirkungen durch Umweltchemikalien als Schäden (welcher Art, welcher Höhe, für wen) anzusehen sind (Komplexitätsreduktion), und zweitens, eine Bewertung durchzuführen, *bevor* eventuell irreversible Auswirkungen manifest geworden sind (Prävention) (Abschnitt 4.3).

Die Indikatoren  $R$  und  $\tau$  sind somit Reichweiten von *Umwelteinwirkungen* und damit *stoffbezogene* Größen.  $R$  und  $\tau$  sind unabhängig von auswirkungsbezogenen Schwellenwerten und von der freigesetzten Stoffmenge. Gerade aufgrund der Mengenunabhängigkeit sind  $R$  und  $\tau$  geeignet zur Charakterisierung und Klassifizierung von Stoffen hinsichtlich ihres Verteilungsverhaltens (Kapitel 5).

Im zweiten Teil der Arbeit wird die räumliche Reichweite  $R$  als das *95%-Quantil* der räumlichen Expositionsverteilung  $\{e_j\}_j$  definiert; die zeitliche Reichweite bzw. Persistenz  $\tau$  wird definiert als die *Äquivalenzbreite* der Funktion  $M(t)$ , die den zeitlichen Verlauf der in der Umwelt befindlichen Gesamtstoffmenge beschreibt. Mit diesen Definitionen entsprechen die Werte von  $R$  und  $\tau$  bei einer räumlichen oder zeitlichen *Gleichverteilung* der Länge des exponierten räumlichen bzw. zeitlichen In-

tervalls. Damit ist die aus dem Prinzip der Unparteilichkeit resultierende Forderung erfüllt, daß gleiche Expositionen, die an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten anfallen, mit gleichem Gewicht in die Werte für  $R$  und  $\tau$  eingehen müssen (Kapitel 6).

Nach der – modellunabhängigen – Definition von  $R$  und  $\tau$  wird in Kapitel 7 ein Modell für die globale Verteilungsdynamik organischer Substanzen entwickelt, das erstens den Übertritt zwischen den drei Kompartimenten Boden, Oberflächenwasser und Troposphäre, zweitens chemischen und biologischen Abbau in diesen Kompartimenten sowie drittens weiträumigen Transport in Troposphäre und Oberflächenwasser umfaßt. Zunächst wird dieses Modell anhand der Substanzen 1-Butanol und  $\text{CCl}_3\text{F}$  getestet, die die beiden Grenzfälle von kurzfristiger/begrenzter und langfristiger/weiträumiger Exposition repräsentieren. Zweitens wird für verschiedene CKW-Pestizide der Einfluß der Adsorption an Aerosolpartikel auf die Reichweiten  $R$  und  $\tau$  untersucht, und drittens werden insgesamt 29 Substanzen (überwiegend Lösungsmittel und Pestizide) nach  $R$  und  $\tau$  klassifiziert. Dabei zeigt sich, daß hohe zeitliche und räumliche Reichweiten überwiegend bei halogenierten Kohlenwasserstoffen auftreten (Kapitel 8).

Mit der Einführung der räumlichen und zeitlichen Reichweite auf der Ebene der Einwirkungen läßt sich das Verfahren zur Chemikalienbewertung in folgender Weise gliedern (Kapitel 9):

Die Emissionsmenge, die Reichweiten  $R$  und  $\tau$  und auswirkungsorientierte Indikatoren wie die Human- und Ökotoxizität korrespondieren mit den drei Stufen von Emission, Exposition und Auswirkungen. Die Emissionsmenge bestimmt die *Größenordnung* der Umwelteinwirkungen durch anthropogene Chemikalien; bei großen Emissionsmengen kann jede Substanz unabhängig von Substanzeigenschaften wie Reichweite oder Toxizität zu erheblichen Umweltbelastungen führen. Die Reichweiten  $R$  und  $\tau$  spezifizieren die *räumliche* und *zeitliche Erstreckung* der Umwelteinwirkungen und damit das Verteilungsverhalten der Stoffe, und auswirkungsorientierte Indikatoren wie die Toxizität beziehen sich auf Effekte, die *nach* der Verteilung einer Substanz an den Orten, an die sie gelangt ist, auftreten.

Als Hauptresultat für die Chemikalienbewertung ergibt sich: Wenn die räumliche und zeitliche Expositionsverteilung die Verteilungsgerechtigkeit nicht verletzen und wenn Vorsorge möglich sein soll, sollten für alle Zielsetzungen, die mit dem Einsatz von Chemikalien verfolgt werden, kurzreichweitige Stoffe in möglichst geringer Menge verwendet werden. Bei langreichweitigen Stoffen, die zur Zeit noch verwendet werden (z. B. halogenierte Lösungsmittel), sollten die Emissionsmengen unabhängig davon, wie toxisch, brennbar, treibhauswirksam etc. diese Stoffe sind, reduziert werden bzw. die Stoffe sollten durch Substanzen mit ähnlicher Verwendbarkeit, aber geringerer Reichweite ersetzt werden, auch wenn dazu verstärkte Maßnahmen für Arbeitsschutz und lokalen Umweltschutz erforderlich werden. Auf diese Weise kann der umweltpolitische Maxime „global Denken, lokal Handeln“ im Bereich der Umweltchemikalien eine konkrete Bedeutung verliehen werden.

## Summary

How can the environmental impact caused by man-made chemicals be assessed in a reliable way (i) despite the extreme complexity of environmental systems and (ii) despite the lack of normative categories for the evaluation of environmental changes? In this study, an approach to deal with these two obstacles impeding the assessment of environmental chemicals is presented. It comprises two modifications of the common procedure of exposure analysis and effect analysis as it is used in the environmental risk assessment for chemicals:

First, the assessment is based *explicitly* on widely accepted normative principles such as the precautionary principle, the polluter pays principle, the principles of equity and impartiality. The application of these normative principles to environmental changes is governed by the following assumptions:

(i) The spatial and temporal distributions of (possibly adverse) consequences of an action, including side effects, come within the purview of these principles; (ii) these distributions can be approximately described by *spatial* and *temporal ranges* ( $R$  and  $\tau$ ), and (iii), in conclusion, environmental changes can be evaluated according to these principles if they are described in terms of spatial and temporal range.  $R$  and  $\tau$  help to identify persons who are exposed to chemicals without profiting from their benefits (inequitable exposure distributions) (section 4.2).

Secondly, the assessment is based on exposure data only, *i. e.* it is shifted from the stage of environmental *damages* (adverse effects of any kind) to the stage of environmental *threat* (impacts such as exposure to chemicals which possibly lead to effects of any kind). There are two important advantages provided by an exposure-based assessment of chemicals: First, an exposure-based approach allows for reducing the complexity the assessment procedure has to deal with because less data have to be recorded, aggregated, and evaluated. Second, it can be performed *before* the effects resulting from the exposure to the chemical released have become manifest, *i. e.* it makes possible a *preventive* assessment by which the precautionary principle can be put into practice. In a subsequent step, each exposure-based assessment can be followed by a more detailed effect-based assessment if significant data are available (section 4.3).

Thus, the ranges  $R$  and  $\tau$  are specific properties of environmental chemicals independent of effect levels and of the chemical's amount released. Accordingly, they are suitable for characterization and classification of environmental chemicals with respect to their distribution behaviour.

$R$  and  $\tau$  are defined as cutoff-criteria determining the effective spatial extension and temporal duration of exposure patterns.  $R$  is defined as the *95%-percentile* of the spatial exposure distribution  $\{e_j\}_j$  and  $\tau$  as the *equivalence width* of the function  $M(t)$  describing the temporal decrease of the chemical's total amount present in the environment. In the case of a uniform distribution,  $R$  and  $\tau$  assume the length of the spatial or temporal interval covered by this distribution. This is in accordance with

the principle of impartiality requiring equal exposure burdens at different places and different times to contribute equally to the numerical values of  $R$  and  $\tau$  (chapter 6).

For the calculation of exposure distributions  $\{e_j\}_j$ , a model of the global circulation is set up which describes the following processes (chapter 7): transfer between the compartments soil, troposphere, and oceanic surface water, as well as degradation within each of these compartments, and, moreover, tropospheric and oceanic long-range transport. This model is tested with 1-butanol and  $\text{CCl}_3\text{F}$  as two benchmarks representing short-term/short-range and long-term/long-range exposure, respectively. Secondly, it is used for investigating the influence of vapour-particle partitioning on the persistence and spatial range of semivolatile organochlorines. Finally,  $R$  and  $\tau$  are calculated for a set of 29 organic chemicals, mainly solvents and pesticides, and these compounds are classified according to  $R$  and  $\tau$ . It shows that mainly chlorinated hydrocarbons (volatile solvents as well as semivolatile pesticides) are characterized by very high spatial ranges *and* persistences (chapter 8).

Introducing the exposure-based quantities  $R$  and  $\tau$  leads to a subdivision of the assessment procedure into three steps: The amount released, the ranges  $R$  and  $\tau$ , and effect-oriented quantities such as toxicity measures correspond to the three stages of emission, exposure, and effects. The order of magnitude of the environmental impact caused by anthropogenic chemicals is determined by the amount actually released. The ranges  $R$  and  $\tau$  specify the spatial extension and the temporal duration of this impact, and effect-oriented quantities describe effects which become manifest at the locations that have been reached by the chemical; they do *not* refer to the extent of the exposure pattern.

The assessment of environmental chemicals in terms of  $R$  and  $\tau$  leads to the following conclusions: Chemicals with high ranges  $R$  and  $\tau$  should be phased out without further investigation of their ecological noxiousness. On the long term, short-lived/short-range compounds should be used in all fields of chemical application for prevention to be possible and for exposure burdens with an inequitable spatial and temporal distribution to be avoided. Thus, the motto "think globally, act locally" can be put into practice in the field of environmental chemicals.